

Appendix

ヒートシンクの大きさの決めかた

渡部達己

ここでは，LSIの消費電力と熱特性から，必要になるヒートシンクの大きさや形状を決める方法について説明する．ヒートシンクの中には市販されている製品もあるが，適用しようとする箇所に合った形状のものが見つかるとは限らない．物理的な制約に合わせてカスタマイズする技術も求められる．　（編集部）

FPGAの高速化や大規模化に伴って，放熱について相談を受ける機会が増えています．放熱では，消費電力や使用温度範囲，放熱に使用可能な空間や形状などを考慮しなければなりません．そこで，基本的で実務的な放熱対策として，必要なヒートシンクの大きさや形状を求める一連のプロセスを紹介します．

FPGAの場合，熱対策が課題となるのは，消費電力が10W前後の場合が多いようです．

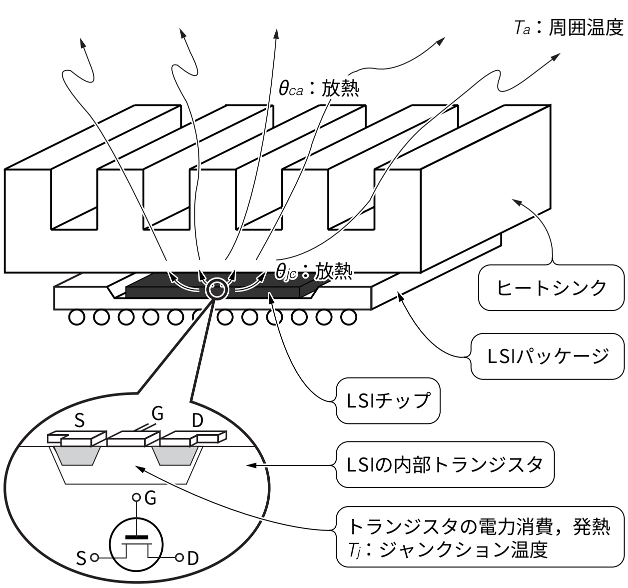


図1　LSIの発熱と放熱
トランジスタ素子の電力消費による発熱は，チップ表面からパッケージ表面へ，さらにヒートシンクや放熱板を経て周辺の空気に伝わり拡散する

● 放熱の概要

放熱設計では，熱平衡回路の理解がたいせつです．

LSIでは，チップを構成するトランジスタ電力の積和によって電力が消費されます．このトランジスタ素子の電力消費による発熱は，**図1**のように，チップ表面からパッケージ表面へ，さらにヒートシンクや放熱板を経て周辺の空気に伝わり拡散します．この熱平衡を電気回路的に表現すると**図2**になります．

ここで重要になるパラメータについて説明します．

1）T_j：ジャンクション温度［℃］

LSI（トランジスタ）への通電およびスイッチング動作により電力が消費され，発熱したときのトランジスタ素子内部の温度です．この温度の最大値は，通常150℃で規定されます．加速度寿命試験などの例外を除いては，この最大値を超えないようにしてLSIを使用しなければなりません．

2）P_d：LSIの消費電力［W］

多くのLSIでは，一般的な使用条件とともにデータシートに示されます．しかし，例えばFPGAでは，実装する回路や動作周波数によって大きく異なるため，動作に合わせた条件で正しく見積もり，実測値についても確認する必要があります．消費電力は，熱平衡回路で電気回路の電流的パラメータとして扱われます．

3）θ_{jc}：熱抵抗値［℃/W］

トランジスタ素子内部からパッケージ表面までの熱抵抗値

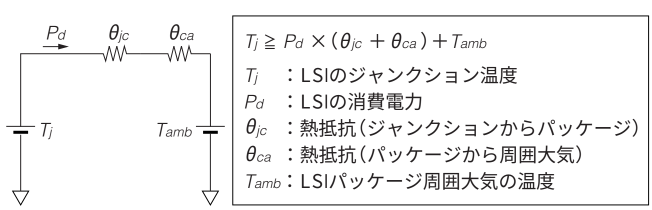


図2　熱平衡回路
熱平衡を電気回路的に表現した

KeyWord　ヒートシンク，FPGA，放熱，熱平衡回路，ジャンクション温度，熱抵抗，フリップチップ，自然空冷，強制空冷，フィン



(thermal resistance)です．パッケージの種類によって抵抗値にかなりの差異があります．放熱を必要とする消費電力の比較的高いタイプのパッケージは，この熱抵抗値の小さいものが使われているのがふつうです．フリップチップのパッケージはチップ表面とパッケージ表面の間の熱伝達効率が高く，θ_{jc} 値を低く抑えられます．熱設計の実務では，この θ_{jc} をデータシートから確認しておく必要があります．一般的にフリップチップ・ベースのFPGAの場合，θ_{jc} が0.1～0.4 ℃/W程度です．

4）θ_{ca}：熱抵抗値［℃/W］

パッケージ表面からヒートシンクを通して周辺空気までの熱抵抗値です．細かく規定するときは，パッケージ表面とヒートシンクの接合部の熱抵抗値（θ_{ch}），ヒートシンク自身の熱抵抗値（θ_{hh}），ヒートシンクから空気への熱抵抗値（θ_{ha}）を分けて考え，

$$\theta_{ca} = \theta_{ch} + \theta_{hh} + \theta_{ha}$$

となります．θ_{ch} は熱の伝播面のため，パッケージの熱がヒートシンクに効率良く受け渡しされるように，パッケージとの接合面を鏡面しあげとしたり，熱伝導シートを入れて表面の密着性を上げたりするくふうを加えることがあります．θ_{ha} は大気中への熱放散の抵抗値になるため，ヒートシンクの面積が重要になります．θ_{ha} は，ヒートシンクに与える風の流速により大きく変わります．

5）T_{amb}：周囲温度［℃］

パッケージ周囲の空気の温度です．常温（25 ℃）とは限らず，使用環境に見合った最大値を与える必要があります．例えば室温で使用する機器であっても，熱設計では50 ℃を適用することがあります．

これらのパラメータは，

$$T_j \geqq P_d \times (\theta_{jc} + \theta_{ca}) + T_{amb} \cdots\cdots (1)$$

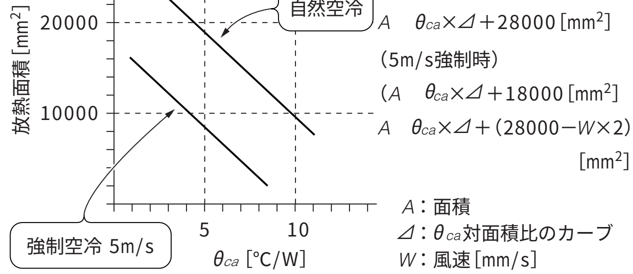


図3　空冷時に必要とする熱抵抗値とヒートシンク表面積の関係
無風時と5m/sの風がある場合を示す

になります．ここで，ジャンクションから周囲空気までの熱抵抗 θ_{ja} は，

$$\begin{aligned}\theta_{ja} &= \theta_{jc} + \theta_{ca} \\ &= \theta_{jc} + \theta_{ch} + \theta_{hh} + \theta_{ha}\end{aligned}$$

です．

● 放熱可能な熱抵抗を求める

LSIの上面に載せるべきヒートシンクの形状や表面積を計算してみましょう．

ここでは，LSIの消費電力を10Wと仮定します．35mm×35mm程度のパッケージを想定し，$\theta_{jc} = 0.4$ ℃/Wを使います．使用条件は，ジャンクション温度が150 ℃以下，周囲温度が60 ℃までとします．

いま，式(1)に数値を当てはめてみると，

$$150 \geqq 10 \times (0.4 + \theta_{ca}) + 60$$
$$(150 - 60)/10 - 0.4 \geqq \theta_{ca}$$
$$\theta_{ca} \leqq 8.6 \ [℃/W]$$

となります．すなわち，パッケージ表面から周辺の空気までの熱抵抗値を8.6 ℃/W以下にする必要があります．

● 必要なヒートシンクの表面積を求める

まずヒートシンクの表面積を求めてみます．自然空冷（無風）をベースにします．

図3は，空冷時に必要とする熱抵抗値（℃/W）とヒートシンク表面積（mm²）の関係を示しています．無風時は，反比例の曲線であり，

$$A \quad \Delta \times \theta_{ca} + 28000$$

ここで，A：ヒートシンクの必要表面積［mm²］，Δ：面積比特性カーブの傾き，θ_{ca}：必要な熱抵抗値［℃/W］

で実用領域を近似的に表現できます．

この式から8.6 ℃/Wに相当するヒートシンクの表面積を求めてみます．

$$\begin{aligned}A &= -1900 \times 8.6 + 28000 \\ &= 11660 \ [\text{mm}^2]\end{aligned}$$

5 m/sの風による強制空冷時は，次のように近似できます．

$$A \quad \Delta \times \theta_{ca} + (28000 - W \times 2)$$

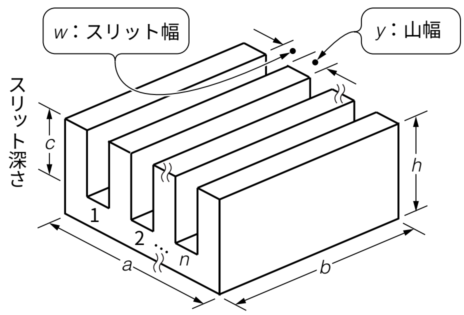


図4　ヒートシンクの形状
n本のスリットがある場合

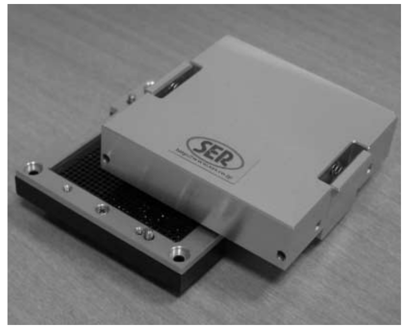


写真1　FPGA用ソケットと抑えキャップ
エス・イー・アールの「BC5117-352B」

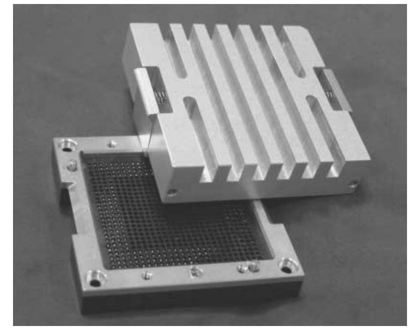


写真2　スリットのあるヒートシンクの例

$A \quad -1900 \times 8.6 + (28000 - 5000 \times 2)$

1660 [mm^2]

ここで，Wは風速

つまり，自然空冷時はヒートシンクの放熱面が11660mm^{2}以上のものを，5m/s強制空冷のときは1660mm^{2}以上のものを使用する必要があります．

● フィンの形状を決める

35mm × 35mmのパッケージに適合するヒートシンクの大きさとして，ここではFPGA用ソケット(**写真1**)の抑えキャップの大きさである47mm × 47mm × 16mmを適用して考えます．形状を**図4**に示します．

上面と側面からのみ放熱に効果的であるとし，ヒートシンクにスリットがない場合には，

$A' \quad (a \times b) + 2(a \times h) + 2(b \times h)$

$= 47 \times 47 + 2(47 \times 16) + 2(47 \times 16)$

$= 5217$ [mm^2]

の面積が得られます．この表面積は1660mm^{2}を十分上回っており，強制空冷で約3.2m/sの風速でヒートシンクに風が与えられれば10WのFPGAを十分使用できることになります．

写真2のようなスリットを入れると方程式は，

$A'' \quad A' + 2n(c \times b)$

今，11660mm^{2}の放熱面積を求めるためのスリットの数をn，掘り込み深さ$c = 12$ mmとすると，

$11660 \quad 5217 + 2n\ (12 \times 47)$

$n = (11660 - 5217) / 2(12 \times 47) = 5.71$

となり，6本のスリットが必要になります．

次に，47mm × 47mm × 16mmのヒートシンクを考えます．2面にそれぞれ5mm程度以上の壁を持たせて，スリット幅(w)3.0mm，山の幅(y)3.0mm，深さ12mmで削ることにすると，6本のスリットを入れることができます．

スリット幅3mmで山幅3mmとした理由は，掘り込み深さの経済的加工限界を避けるためです．スリットの溝を切っていくとき，スリット幅の4〜5倍が深さの経済的加工限界と言われています．このピッチの狭さでは山幅もできるだけスリットと同等な幅が推奨されます．かりに上記の条件でスリット幅を2mmとし，θ_{jc}にもっと余裕を持たせようとした場合，2mm幅で12mmの深さでは経済性から考えると，加工がかなり難しくなります．

スリット数nと山の関係は，加工可能な幅(埋め込み幅)をE [mm]とすると，以下のようになります．

$$E \geqq (w + y)(n - 1) + w$$

かりに7スリットの加工を施したヒートシンクなら，同じ条件下でLSIの消費電力を約12Wまで使用可能という計算になります．

また，使用温度範囲を50 ℃までとし，同様に上記式から導くと，$n = 6$の場合の放熱面積$A = 11985$mm^{2}のヒートシンクは，11.3WのLSIを適正に使用するに十分であるといえます．

参考・引用*文献

(1) Aavid Thermalloy ; Heat Sink　Thermal Data.

わたべ・たつみ　(株)エス・イー・アール　常務取締役営業本部長

<筆者プロフィール>
1971年，秋田工業高等専門学校 電気工学科卒業．CPU，DSPなど，各種ICの応用技術，営業技術部長として活動．1984年，両端プローブを開発．LSIソケットを開発・販売して現在に至る．